

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-223600

(43)Date of publication of application : 26.08.1997

(51)Int.Cl.

H05H 13/04  
G21K 5/04

(21)Application number : 08-322484

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 03.12.1996

(72)Inventor : HIRAMOTO KAZUO  
TADOKORO MASAHIRO  
NORIMINE TETSUROU

(30)Priority

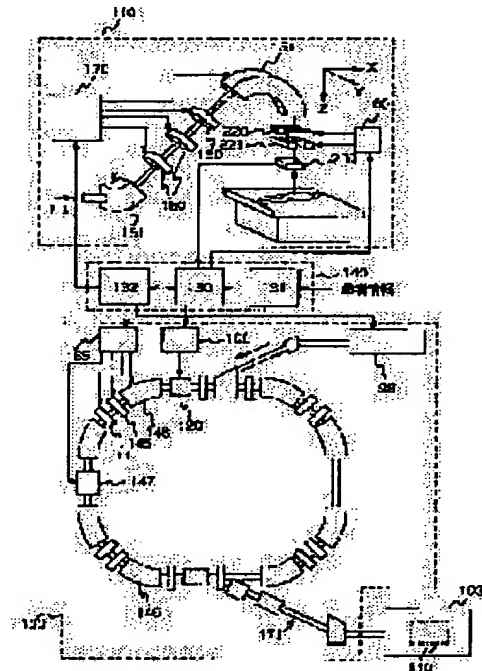
Priority number : 07321427 Priority date : 11.12.1995 Priority country : JP

## (54) CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE AND OPERATION METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately irradiate a charged particle beam to an irradiating object in uniform density of the beam by simple control even when a shape of the irradiating object is complicated.

SOLUTION: A charged particle beam device is composed of a front stage accelerator 98, a synchrotron type accelerator 100, a rotary irradiating device 110 and a control device group 140. An irradiation control device 130 controls emission of a charged particle beam to the rotary irradiating device 110 from the accelerator 100. An operation device 131 finds data necessary for the irradiation control device 130 to control irradiation of the charged particle beam to the diseased part. An accelerator control device 132 controls emission of the charged particle beam to the accelerator 100 from the front stage accelerator 98, acceleration of the charged particle beam to revolve around the accelerator 100 and transport of the charged particle beam in the rotary irradiating device 110.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.02.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2833602

[Date of registration] 02.10.1998

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 ( J P )

(12)公開特許公報 ( A )

(11)特許出願公開番号

特開平 9 - 2 2 3 6 0 0

(43)公開日 平成 9 年 ( 1 9 9 7 ) 8 月 2 6 日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H05H 13/04			H05H 13/04	G
G21K 5/04			G21K 5/04	D

審査請求 未請求 請求項の数 1 0 O L (全 1 2 頁)

(21)出願番号 特願平 8 - 3 2 2 4 8 4  
(22)出願日 平成 8 年 ( 1 9 9 6 ) 1 2 月 3 日  
(31)優先権主張番号 特願平 7 - 3 2 1 4 2 7  
(32)優先日 平 7 ( 1 9 9 5 ) 1 2 月 1 1 日  
(33)優先権主張国 日本 ( J P )

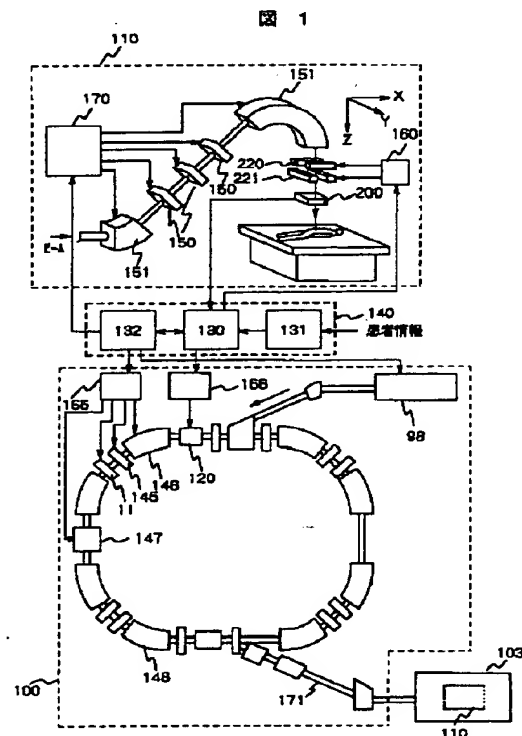
(71)出願人 0 0 0 0 0 5 1 0 8  
株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地  
(72)発明者 平本 和夫  
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株  
式会社日立製作所日立研究所内  
(72)発明者 田所 昌宏  
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株  
式会社日立製作所日立研究所内  
(72)発明者 乗峯 哲朗  
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株  
式会社日立製作所日立研究所内  
(74)代理人 弁理士 小川 勝男

(54)【発明の名称】荷電粒子ビーム装置およびその運転方法

(57)【要約】

【課題】照射対象の形状が複雑な場合でも、簡単な制御により、荷電粒子ビームを照射対象に精度よく、かつ、ビームの密度を一様に照射する。

【解決手段】荷電粒子ビーム装置は、前段加速器 9 8、シンクロトン型の加速器 1 0 0、回転照射装置 1 1 0 および制御装置群 1 4 0 から構成される。照射制御装置 1 3 0 は、加速器 1 0 0 から回転照射装置 1 1 0 への荷電粒子ビームの出射を制御する。演算装置 1 3 1 は、照射制御装置 1 3 0 が患部への荷電粒子ビームの照射を制御するために必要なデータを求める。加速器制御装置 1 3 2 は、前段加速器 9 8 から加速器 1 0 0 への荷電粒子ビームの出射、加速器 1 0 0 を周回する荷電粒子ビームの加速、および回転照射装置 1 1 0 における荷電粒子ビームの輸送を制御する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】環状の荷電粒子加速器と、前記荷電粒子加速器から供給される荷電粒子ビームを照射対象に照射する照射装置とを備える荷電粒子ビーム装置において、前記荷電粒子加速器は、前記荷電粒子ビームの出射および停止を切り替える出射切り替え手段を有し、前記照射装置は、前記照射対象に照射される前記荷電粒子ビームの照射位置を設定する電磁石を有し、前記出射切り替え手段を制御して前記荷電粒子ビームを出射および停止させ、および、前記電磁石を制御して前記照射位置を変更させる制御装置を備えることを特徴とする荷電粒子ビーム装置。

【請求項 2】前記照射対象を複数の照射領域に分けて、前記照射領域における目標照射量を定める目標照射量設定装置と、前記照射領域における前記荷電粒子ビームの照射量を測定する照射量測定装置とを備え、前記制御装置は、前記目標照射量と前記照射量測定装置で測定された照射量とに基づいて前記出射切り替え手段を制御することを特徴とする請求項 1 の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 3】前記出射切り替え手段は、前記荷電粒子加速器を周回する前記荷電粒子ビームのベータatron振動の周波数を含む高周波電磁界を前記荷電粒子ビームに加える高周波印加装置であることを特徴とする請求項 1 の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 4】前記照射対象に照射される前記荷電粒子ビームのエネルギーを変化させるエネルギー変化手段を有することを特徴とする請求項 3 の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 5】環状の荷電粒子加速器と、前記荷電粒子加速器から供給される荷電粒子ビームを前記照射対象に照射する照射装置と、前記荷電粒子加速器から出射した荷電粒子ビームを前記照射装置へ輸送する荷電粒子ビーム輸送系を備える荷電粒子ビーム装置において、前記荷電粒子加速器は、前記荷電粒子ビームの出射および停止を切り替える出射切り替え手段を有し、前記荷電粒子ビーム輸送系は、ビームの輸送および停止を切り替える輸送切り替え手段を有し、前記照射装置は、前記照射対象に照射される前記荷電粒子ビームの照射位置を設定する電磁石を有し、前記出射切り替え手段を制御して前記荷電粒子ビームを出射および停止させ、前記輸送切り替え手段を制御して前記荷電粒子ビームを輸送および停止させ、および、前記電磁石を制御して前記照射位置を変更させる制御装置を備えることを特徴とする荷電粒子ビーム装置。

【請求項 6】患者の動きを検出する動き検出手段を備え、前記制御装置は、前記動き検出で検出された患者の動きに基づいて、前記出射切り替え手段を制御するものであることを特徴とする請求項 1 または請求項 5 の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 7】前記荷電粒子ビームの出射および停止を切

り替えるステップと、前記照射位置を設定するステップと、前記照射位置を変更するステップとを有することを特徴とする請求項 1 の荷電粒子ビーム装置の運転方法。

【請求項 8】前記照射対象上に複数の照射領域を定め、前記照射領域の目標照射量を定め、前記照射位置を設定し、前記環状の荷電粒子加速器から前記荷電粒子ビームを出射し、前記照射領域における前記荷電粒子ビームの照射量を測定し、前記目標照射量と前記ビーム量測定手段で測定された照射量とに基づいて前記荷電粒子ビーム出射を停止し、前記照射位置を変更することを特徴とする請求項 2 の荷電粒子ビーム装置の運転方法。

【請求項 9】前記荷電粒子ビームを出射するために前記高周波電磁界を前記荷電粒子ビームに加え、前記荷電粒子ビーム出射を停止するために前記高周波電磁界を前記荷電粒子ビームに加えることを停止することを特徴とする請求項 7 の荷電粒子ビーム装置の運転方法。

【請求項 10】前記荷電粒子ビームのエネルギーを変更するステップを含むことを特徴とする請求項 7 または 8 の荷電粒子ビーム装置の運転方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、荷電粒子ビームを癌治療や患部の診断に利用する荷電粒子ビーム装置に関する。

【0002】

【従来の技術】加速器を周回する荷電粒子ビームを出射して医療に利用する技術は、特開平 5 - 198397 号公報に記載されている。

【0003】従来の荷電粒子ビーム装置は、Rev.Sci.Instrum., Vol. 64, No. 8, August, 1993, p. 2088 の Fig. 4.5 に記載されている。この従来技術を図 9 を用いて説明する。

【0004】図 9 において、荷電粒子ビームは  $z$  方向に進む。 $x$  方向走査電磁石 101、 $y$  方向走査電磁石 102 に、時間的に変化する電流を流すと、それぞれの電磁石に発生する磁場も時間的に変化する、荷電粒子ビームは、 $x$  方向（水平方向）および  $y$  方向（垂直方向）に走査される。図 9 は、単位時間あたりの  $x$  方向の走査（往復）回数を多くし、 $y$  方向の走査回数を少なくして、照射野 99 を形成している。照射野 99 の幅  $a$ 、 $b$  は、それぞれ、 $x$  方向走査電磁石 101、 $y$  方向走査電磁石 102 の最大電流によって決まる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、照射目標形状が複雑な場合に、荷電粒子ビームを照射目標に正確に、かつ、ビームの密度を一樣に照射するためには、 $x$  方向および  $y$  方向の走査範囲と走査速度とを、荷電粒子ビームを照射しながら変化させる必要があり、 $x$  方向走査電磁石 101 および  $y$  方向走査電磁石 102 に供給される電流の制御は極めて複雑である。

【 0 0 0 6 】 本発明の目的は、照射対象の形状が複雑な場合でも、簡単な制御により、荷電粒子ビームを照射対象に精度よく、かつ、ビームの密度を一樣に照射できる荷電粒子ビーム装置とその運転方法を提供することにある。

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成する本発明の特徴は、荷電粒子加速器が荷電粒子ビームの出射および停止を切り替える出射切り替え手段を有し、照射装置が照射対象に照射される荷電粒子ビームの照射位置を設定する電磁石を有し、制御装置が出射切り替え手段を制御して荷電粒子ビームを出射および停止させ、および、電磁石を制御して前記照射位置を変更させることにある。

【 0 0 0 8 】 本発明の特徴によれば、出射切り替え手段が、荷電粒子加速器を周回する荷電粒子ビームを照射装置へ出射すれば、荷電粒子ビームは照射装置において照射対象に照射される。出射切り替え手段が、荷電粒子加速器から照射装置への荷電粒子ビームの出射を停止すれば、荷電粒子ビームの照射対象への照射も停止される。従って、制御装置が、出射切り替え手段を制御して荷電粒子ビームの出射および停止を切り替えさせることにより、照射対象への照射も切り替えることができる。照射装置において電磁石が荷電粒子ビームの照射位置を設定するので、荷電粒子加速器から照射装置への出射された荷電粒子ビームを照射対象に照射することができる。制御装置が、電磁石を制御して照射位置を変更してから照射対象の他の照射位置にも荷電粒子ビームを照射するので、荷電粒子ビームを照射しながら走査電磁石の電流を変化させる必要がなく、従来技術よりも簡単な制御で、精度よく、かつ、ビームの密度を一樣に照射することができる。

【 0 0 0 9 】 本発明の他の特徴は、目標照射量設定装置が照射対象を複数の照射領域に分けて、各照射領域における目標照射量を定め、照射量測定装置が各照射領域における荷電粒子ビームの照射量を測定し、制御装置が、目標照射量と照射量測定装置で測定された照射量とに基づいて出射切り替え手段を制御することにある。制御装置が、電磁石を制御して照射位置を変更して各照射領域に荷電粒子ビームを照射するので、照射対象の形状が複雑な場合でも、正確に、かつ、ビームの密度を一樣に照射できる。また、制御装置は、照射領域の照射量が目標照射量に達するまで照射を継続するため、荷電粒子ビームの強度が時間的に変化した場合でも、照射対象にビームの密度を一樣に照射できる。

【 0 0 1 0 】 また、出射切り替え手段が、荷電粒子加速器を周回する前記荷電粒子ビームのベータトロン振動の周波数を含む高周波電磁界を前記荷電粒子ビームに加える高周波印加装置であれば、荷電粒子加速器を周回する荷電粒子ビームのベータトロン振動が共鳴状態であると

きに、印加される高周波電磁界により荷電粒子ビームのベータトロン振動振幅が増加して共鳴の安定限界を越え、荷電粒子ビームは荷電粒子加速器から出射される。このとき、荷電粒子ビームは一定に出射されるので、一樣なビームの密度で荷電粒子ビームを照射対象に照射できる。

【 0 0 1 1 】 本発明の他の特徴は、荷電粒子加速器が荷電粒子ビームの出射および停止を切り替える出射切り替え手段を有し、荷電粒子ビーム輸送系が荷電粒子ビームの輸送および停止を切り替える輸送切り替え手段とを有し、照射装置が照射対象に照射される荷電粒子ビームの照射位置を設定する電磁石を有し、制御装置が出射切り替え手段を制御して荷電粒子ビームを出射および停止させ、輸送切り替え手段を制御して前記荷電粒子ビームを輸送および停止させ、および、電磁石を制御して前記照射位置を変更させることにある。

【 0 0 1 2 】 この特徴によれば、出射切り替え手段が荷電粒子加速器を周回する荷電粒子ビームを照射装置へ出射し、かつ、輸送切り替え手段が荷電粒子ビームを照射装置へ輸送すれば、荷電粒子ビームは照射装置において照射対象に照射される。出射切り替え手段が荷電粒子加速器から照射装置への荷電粒子ビームの出射を停止、または、輸送切り替え手段が荷電粒子ビームを停止すれば、荷電粒子ビームの照射対象への照射も停止される。従って、制御装置が、出射切り替え手段および輸送切り替え手段を制御することにより、照射対象への照射も切り替えることができる。また、照射も切り替えが2つの切り替え手段によって行われるから、より安全性が高い。照射装置において電磁石が荷電粒子ビームの照射位置を設定するので、荷電粒子加速器から照射装置への出射された荷電粒子ビームを照射対象に照射することができる。制御装置が、電磁石を制御して照射位置を変更してから照射対象の他の照射位置にも荷電粒子ビームを照射するので、荷電粒子ビームを照射しながら走査電磁石の電流を変化させる必要がなく、従来技術よりも簡単な制御で、精度よく、かつ、ビームの密度を一樣に照射することができる。

【 0 0 1 3 】 また、本発明の他の特徴は、患者の動きを検出する動き検出手段を備え、制御装置が、動き検出で検出された患者の動きに基づいて、出射切り替え手段を制御することにより、患者の呼吸、咳等に起因する体の動きを検知して、患部がほぼ静止している時に荷電粒子ビームを照射し、照射対象を精度良く照射することができる。

【 0 0 1 4 】 また、荷電粒子ビームによる癌治療では、照射対象の深さによって照射する荷電粒子ビームのエネルギーを変える必要がある。この場合、荷電粒子加速器を周回する荷電粒子ビームのエネルギーを加速段階で変更するか、照射装置の荷電粒子ビームが通過する所にグラファイトなどの板上の物質を置いて、出射された荷電

粒子ビームのエネルギーを変えて照射する。

【 0 0 1 5 】

【 発明の実施の形態 】

（実施例 1）本発明の第 1 の実施例の荷電粒子ビーム装置を図 1 を用いて説明する。本実施例の荷電粒子ビーム装置は、前段加速器 9 8、シンクロトン型の加速器 1 0 0、回転照射装置 1 1 0 および制御装置群 1 4 0 から主に構成される。低エネルギーのイオンが前段加速器 9 8 から加速器 1 0 0 に入射され、加速器 1 0 0 において加速された後、治療室 1 0 3 内の回転照射装置 1 1 0 に出射されて、イオンビームが治療に用いられる。

【 0 0 1 6 】 加速器 1 0 0 を構成する主な機器について説明する。加速器 1 0 0 は、加速器 1 0 0 を周回する荷電粒子ビームに高周波電磁界を印加して荷電粒子ビームのベータトロン振動を増加し、共鳴の安定限界を越えさせ、荷電粒子ビームのベータトロン振動を共鳴状態にして荷電粒子ビームを加速器から出射する加速器である。

【 0 0 1 7 】 加速器 1 0 0 は、周回する荷電粒子ビームを曲げる偏向電磁石 1 4 6、周回する荷電粒子ビームにエネルギーを与える高周波加速空洞 1 4 7、周回する荷電粒子ビームに磁界を印加してベータトロン振動を共鳴状態にする 4 極電磁石 1 4 5 や多極電磁石 1 1、および周回する荷電粒子ビームに高周波を印加してベータトロン振動を増加する出射用高周波印加装置 1 2 0 を備えている。また、偏向電磁石 1 4 6、4 極電磁石 1 4 5、および多極電磁石 1 1 に電流を、そして、高周波加速空洞 1 4 7 に電力を供給する加速器用電源装置 1 6 5 と、出射用高周波印加装置 1 2 0 に電力を供給する出射用高周波電源 1 6 6 を備える。

【 0 0 1 8 】 回転照射装置 1 1 0 を説明する。回転照射装置 1 1 0 は、加速器 1 0 0 から出射された出射ビームを照射対象まで輸送するための 4 極電磁石 1 5 0 および偏向電磁石 1 5 1、および 4 極電磁石 1 5 0 および偏向電磁石 1 5 1 に電流を供給する電源装置 1 7 0 を備える。

【 0 0 1 9 】 さらに、回転照射装置 1 1 0 は、偏向電磁石 1 5 1 よりも下流に、照射位置を x 方向および y 方向に動かすための電磁石 2 2 0、2 2 1 を備える。ここで、x 方向は偏向電磁石 1 5 1 の偏向面に平行な方向、y 方向は偏向電磁石 1 5 1 の偏向面に垂直な方向である。電磁石 2 2 0、2 2 1 には電流を供給する電源装置 1 6 0 が接続されている。電磁石 2 2 0、2 2 1 のさらに下流で、照射対象である患者の直前には、ビームの照射線量分布を測定する照射線量モニター 2 0 0 を設置している。

【 0 0 2 0 】 制御装置群 1 4 0 を説明する。制御装置群 1 4 0 は、照射制御装置 1 3 0、演算装置 1 3 1、加速器制御装置 1 3 2 を備える。

【 0 0 2 1 】 照射制御装置 1 3 0 は、加速器 1 0 0 から回転照射装置 1 1 0 への荷電粒子ビームの出射を制御す

るための制御装置である。加速器 1 0 0 から回転照射装置 1 1 0 へ出射された荷電粒子ビームは照射対象に照射されるので、加速器 1 0 0 からの出射を制御することは、患部への荷電粒子ビームの照射を制御することになる。

【 0 0 2 2 】 演算装置 1 3 1 は、照射制御装置 1 3 0 が患部への荷電粒子ビームの照射を制御するために必要なデータを求める装置である。

【 0 0 2 3 】 加速器制御装置 1 3 2 は、前段加速器 9 8 から加速器 1 0 0 への荷電粒子ビームの出射、加速器 1 0 0 を周回する荷電粒子ビームの加速、および回転照射装置 1 1 0 における荷電粒子ビームの輸送を制御するための装置である。

【 0 0 2 4 】 まず、演算装置 1 3 1 の役割について説明し、次に照射制御装置 1 3 0 と加速器制御装置 1 3 2 による荷電粒子ビーム装置の運転方法を説明する。

【 0 0 2 5 】 演算装置 1 3 1 は、オペレーターから患部の形状、深さ、必要な照射線量 R 等の患部情報を入力される。演算装置 1 3 1 は、入力された患部情報に基づいて、照射領域、患部に照射される荷電粒子ビームのエネルギー、電磁石 2 2 0、2 2 1 に供給される電流の大きさなどを演算して求める。

【 0 0 2 6 】 ここで、患部の深さと荷電粒子ビームのエネルギーとの関係を説明する。図 2 に体内の深さと荷電粒子ビームの照射線量の関係の例を示す。図 2 の照射線量のピークをブラッグピークと呼ぶ。患部への荷電粒子ビームの照射はブラッグピークの位置で行われる。ブラッグピークの位置は、荷電粒子ビームのエネルギーにより変化する。従って、患部の深さによってエネルギーを変えれば、深さ方向に厚みを持つ患部の全部に荷電粒子ビームを照射することができる。

【 0 0 2 7 】 演算装置 1 3 1 を図 4 に示す。演算装置 1 3 1 の照射領域形成部 1 3 3 は、入力された患部情報に基づいて、図 3 に示すように、患部を深さ方向の複数の層  $L_i$  ( $i = 1, 2 \dots N$ ) に分割する。エネルギー計算部 1 3 4 は、それぞれの層の深さに応じて照射に適したビームエネルギー  $E_i$  を求める。

【 0 0 2 8 】 照射領域形成部 1 3 3 は、さらに、各層  $L_i$  の形状に応じて、荷電粒子ビームを照射する複数の照射領域  $A_{i,j}$  ( $i = 1, 2 \dots N, j = 1, 2 \dots M$ )、照射領域  $A_{i,j}$  の中心点  $P_{i,j}$ 、およびその座標  $(x_{i,j}, y_{i,j})$  を定める。荷電粒子ビームの強度は空間的にガウス分布をしているので、演算装置 1 3 1 は、荷電粒子ビームの径に基づいて、照射領域  $A_{i,j}$  と隣接する照射領域とが重なる部分をつくるように、各照射領域  $A_{i,j}$  とその中心点  $P_{i,j}$  を定める。

【 0 0 2 9 】 照射線量計算部 1 3 5 は、必要な照射線量 R に基づいて各中心点  $P_{i,j}$  の目標照射線量  $R_{i,j}$  を求める。

【 0 0 3 0 】 電磁石電流計算 1 3 6 は、中心点  $P_{i,j}$  と

10

20

30

40

50

荷電粒子ビームの中心と合わせるために、電磁石 2 2 0, 2 2 1 に供給される電流  $I_{Xij}$ ,  $I_{Yij}$  を定める。

【0031】演算装置 1 3 1 は、各層  $L_i$  におけるビームエネルギー  $E_i$ 、各照射領域  $A_{i,j}$ 、中心点  $P_{i,j}$ 、中心点  $P_{i,j}$  の座標  $(x_{ij}, y_{ij})$ 、目標照射線量  $R_{ij}$ 、電流  $I_{Xij}$ ,  $I_{Yij}$  を照射制御装置 1 3 0 に出力する。

【0032】本実施例の荷電粒子ビーム装置の運転方法を図 5 に示す。

【0033】(1) 加速器制御装置 1 3 2 は、前段加速器 9 8 が荷電粒子ビームを出射するように、前段加速器 9 8 を制御する。

【0034】(2) 照射制御装置 1 3 0 は、記憶していたビームエネルギー  $E_i$  を加速器制御装置 1 3 2 に出力する。

【0035】(3) 加速器制御装置 1 3 2 は、周回する荷電粒子ビームをエネルギー  $E_i$  まで加速するために、偏向電磁石 1 4 6, 4 極電磁石 1 4 5 に電流を供給するように、そして、高周波加速空洞 1 4 7 に電力を供給するように、加速器用電源装置 1 6 5 を制御する。

【0036】(4) 周回する荷電粒子ビームがエネルギー  $E_i$  まで加速されたら、加速器制御装置 1 3 2 は、周回する荷電粒子ビームのベータトロン振動を共鳴状態にするために、4 極電磁石 1 4 5、および多極電磁石 1 1 に電流を供給するように、加速器用電源装置 1 6 5 を制御する。

【0037】4 極電磁石 1 4 5、および多極電磁石 1 1 に電流が供給されると、出射のための共鳴の安定限界が発生し、安定限界の外側に移動した周回荷電粒子ビームは、ベータトロン振動が共鳴状態になる。

【0038】(5) 照射制御装置 1 3 0 は、荷電粒子ビームの中心と中心点  $P_{i,j}$  とを合わせるために、電磁石 2 2 0, 2 2 1 に電流  $I_{Xij}$ ,  $I_{Yij}$  を供給するように、電源装置 1 6 0 を制御する。

【0039】(6) 加速器制御装置 1 3 2 は、加速器 1 0 0 から回転照射装置 1 1 0 に出射される荷電粒子ビームを照射対象である患部まで輸送するために、4 極電磁石 1 5 0 および偏向電磁石 1 5 1 に電流を供給するように、電源装置 1 7 0 を制御する。

【0040】(7) 照射制御装置 1 3 0 は、目標照射線量  $R_{ij}$  と照射線量モニター 2 0 0 で測定された中心点  $P_{i,j}$  の照射線量を比較する。

【0041】(8) 中心点  $P_{i,j}$  の照射線量が目標照射線量  $R_{ij}$  に達していない場合は、照射制御装置 1 3 0 は、加速器 1 0 0 から回転照射装置 1 1 0 に出射を開始するために、出射用高周波印加装置 1 2 0 に電力を供給するように、出射用高周波電源 1 6 6 を制御する。

【0042】出射用高周波印加装置 1 2 0 に電力が供給されると、周回する荷電粒子ビームに高周波電磁界が印加され、周回する荷電粒子ビームのベータトロン振動振幅が増加する。ベータトロン振動振幅が増加して、ベ-

タトロン振動の共鳴の安定限界を越えると荷電粒子ビームは、加速器 1 0 0 から回転照射装置 1 1 0 へ出射される。回転照射装置 1 1 0 において、荷電粒子ビームは照射領域  $A_{i,j}$  に照射される。

【0043】(9) 照射制御装置 1 3 0 は、目標照射線量  $R_{ij}$  と照射線量モニター 2 0 0 で測定された中心点  $P_{i,j}$  の照射線量を比較する。中心点  $P_{i,j}$  の照射線量が目標照射線量  $R_{ij}$  に達していない場合は出射を続ける。

【0044】(10) 照射制御装置 1 3 0 は、中心点  $P_{i,j}$  の照射線量が目標照射線量  $R_{ij}$  に達していれば出射を停止するように、出射用高周波電源 1 6 6 を制御する。そして次の照射領域  $A_{i,j+1}$  の中心点  $P_{i,j+1}$  に荷電粒子ビームの中心を合わせるように電源装置 1 6 0 を制御する。

【0045】(11) 照射領域  $A_{i,j}$  の照射から照射領域  $A_{i,j+1}$  の照射へ移る際に、加速器 1 0 0 を周回しているビームを利用できる場合は、(5) からの運転を行い、ビーム量、出射時間が不足する場合は、荷電粒子ビームを補給するために(1)からの運転を行う。

【0046】(12) 層  $L_i$  の全ての照射領域  $A_{i,j}$  で、照射線量が目標値に達したら、次の層  $L_{i+1}$  について、(1) からの運転を行い、層  $L_i$  の場合と同様に全ての照射領域  $A_{i+1,j}$  を照射する。

【0047】(13) 患部の全ての層  $L_i$  を照射したら、荷電粒子ビーム装置の運転を終了する。

【0048】また、本実施例では、加速器 1 0 0 において荷電粒子ビームのエネルギーを  $E_i$  にしているが、回転照射装置 1 1 0 において荷電粒子ビームのエネルギーを変えてもよい。例えば、ビーム照射位置設定用の電磁石 2 2 0 の直前に、図 6 に示すようなレンジシフター 5 0 0 を設置する。そして、照射制御装置 1 3 0 がレンジシフター 5 0 0 を駆動してその厚さを変えることにより、レンジシフター 5 0 0 を透過する荷電粒子ビームのエネルギーを変えることも可能である。

【0049】本実施例によれば、照射目標が複雑な形状をしている場合にも、精度よく患部を照射できる。また、照射線量が目標に達するまで照射を継続するため、ビーム強度が時間的に変化した場合でも、患部にビームの密度を一樣に照射できる。

【0050】また、電磁石 2 2 0, 2 2 1 を制御して照射領域  $A_{i,j+1}$  を変更してから照射対象の他の照射領域に荷電粒子ビームを照射するので、荷電粒子ビームを照射しながら走査電磁石の電流を変化させる必要がなく、電磁石 2 2 0, 2 2 1 に供給される電流  $I_{Xij}$ ,  $I_{Yij}$  の制御は従来技術よりも簡単で、精度よく、かつ、ビームの密度を一樣に照射することができる。

【0051】(実施例 2) 次に、本発明の第 2 の実施例を説明する。本実施例の機器構成は、第 1 の実施例と同様である。ただし、本実施例では、患部の各層  $L_i$  の照射領域を  $x$  方向には分割せず、図 7 に示すように、 $y$  方

向にのみ分割する。すなわち、照射領域  $A_{i,j}$  は  $x$  方向に広い。照射領域  $A_{i,j}$  を照射するときは、電磁石 220 がつくる磁場の強度を変化させて、荷電粒子ビームを  $x$  方向に走査して照射する。

【0052】演算装置 131 は、各範囲  $A_{i,j}$  の  $x$  方向の広がりに基づいて、電磁石 220 の磁場強度を変化させる大きさ  $\Delta I_{Xij}$  を求める。そして、実施例 1 の場合と同様に、各層  $L_i$  におけるビームエネルギー  $E_i$ 、各照射領域  $A_{i,j}$  とその中心点  $P_{i,j}$  ( $x_{ij}, y_{ij}$ )、目標照射線量  $R_{ij}$ 、電流  $I_{Xij}$ 、 $I_{Yij}$  を求め、これらと  $\Delta I_{Xij}$  を照射制御装置 130 に出力する。

【0053】本実施例の荷電粒子ビーム装置の運転方法を図 8 に示す。(8) 以外は第 1 の実施例と同じである(8) で、照射制御装置 130 は、加速器 100 から回転照射装置 110 に出射を開始するために、出射用高周波印加装置 120 に電力を供給するように、出射用高周波電源 166 を制御するとともに、荷電粒子ビームを  $x$  方向に走査して照射するために電磁石 220 の電流  $I_{Xij}$  が  $\Delta I_{Xij}$  の範囲で変化するように、電源装置 160 を制御する。

【0054】本実施例においても、実施例 1 で説明したように、レンジシフター 500 を用いて、回転照射装置 110 において荷電粒子ビームのエネルギーを変えてもよい。

【0055】本実施例では、照射領域  $A_{i,j}$  を照射するときに、電磁石 220 がつくる磁場の強度を変化させて、荷電粒子ビームを  $x$  方向に走査して照射するが、電磁石 221 がつくる磁場の強度を変化させて、荷電粒子ビームを  $y$  方向に走査して照射するようにしてもよい。

【0056】(実施例 3) 次に、本発明の第 3 の実施例を説明する。本実施例の機器構成を図 10 に示す。機器構成が第 1 の実施例と異なる点は、患者の体の動きを検出する動き検出装置 250 を設けている点と、荷電粒子ビームを照射装置へ輸送するビーム輸送系 171 に、荷電粒子ビームの輸送と停止を切り替える電磁石 175 とその電源 176 を設けていることで、その他の構成は、第 1 の実施例 1 と同一である。ただし、電源 175 は、故障して電流が流れないときは、ビームが患者に照射されないようにしておき、電流が正常に加えられたときのみ照射されるようにしておく。

【0057】動き検出装置 250 は、体表面に設置した歪み検出装置でも良いし、あるいは、カメラで患者の動きを検出する装置でも良い。この動き検出装置 250 からの信号により、患者の体の動きを検出し、体の動きが少ない時のみ、患者へビームを照射する信号を出射用高周波電源 166 とビーム輸送系の切り替え電磁石 175 の電源に 176 を送る。前記信号がビーム照射可である時のみ、出射用高周波電源 166 から荷電粒子ビームに高周波を加え、さらに、電源 176 からビーム輸送系の切り替え電磁石 175 に電流を加えて荷電粒子ビームが

回転照射室 110 へ供給されるようにする。この時の運転方法を図 11 に示す。運転方法の (8) および (10) 以外は第 1 の実施例と同じである。

【0058】(8) では、中心点  $P_{i,j}$  の照射線量が目標照射線量  $R_{ij}$  に達せず、かつ、動き検出装置 250 からの信号で、患者が静止していると判断される場合は、照射制御装置 130 は、加速器 100 から回転照射装置 110 に出射を開始するために、出射用高周波印加装置 120 に電力を供給するように、出射用高周波電源 166 を制御し、同時に、荷電粒子ビーム輸送系の切り替え電磁石 175 に電源 176 から電流を加える。ただし、動き検出装置 250 からの信号で、患者が静止していないと判断される場合は、出射用高周波電源 166 と荷電粒子ビーム輸送系の切り替え電磁石 175 の電源を制御して、荷電粒子ビームの回転照射装置 110 への供給を停止する。

【0059】(10) では、照射制御装置 130 は、中心点  $P_{i,j}$  の照射線量が目標照射線量  $R_{ij}$  に達していれば、出射を停止するように、出射用高周波電源 166 を制御するとともに、ビーム輸送系の切り替え電磁石 175 の電流を止めて、荷電粒子ビームの回転照射装置 110 への供給を停止する。そして次の照射領域  $A_{i,j+1}$  の中心点  $P_{i,j+1}$  に荷電粒子ビームの中心を合わせるように電源装置 160 を制御する。

【0060】本実施例によれば、第 1 の実施例と同様の効果が得られるとともに、照射も切り替えが 2 つの切り替え手段によって行われるから、より安全性が高い。また、患部がほぼ静止している時に荷電粒子ビームを照射するので、照射対象を精度良く照射することができる。

【0061】

【発明の効果】本発明によれば、照射対象が複雑な形状をしている場合にも、簡単な制御により、精度よく照射対象を照射できる。また、照射線量が目標に達するまで照射を継続するため、ビーム強度が時間的に変化した場合でも、照射対象にビームの密度を一樣に照射できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の実施例の荷電粒子ビーム装置を示す図である。

【図 2】患部の深さとイオンビームの照射線量の関係の例を示す図である。

【図 3】第 1 の実施例の層  $L_i$  と照射領域  $A_{ij}$  を示す図である。

【図 4】演算装置 131 を示す図である。

【図 5】第 1 の実施例の荷電粒子ビーム装置の運転方法を示す図である。

【図 6】レンジシフター 500 を示す図である。

【図 7】第 2 の実施例の照射領域  $A_{ij}$  を示す図である。

【図 8】第 2 の実施例の荷電粒子ビーム装置の運転方法を示す図である。

【図 9】従来の荷電粒子ビーム装置を示す図である。

11

【図 10】第 3 の実施例の荷電粒子ビーム装置を示す図である。

【図 11】第 3 の実施例の荷電粒子ビーム装置の運転方法を示す図である。

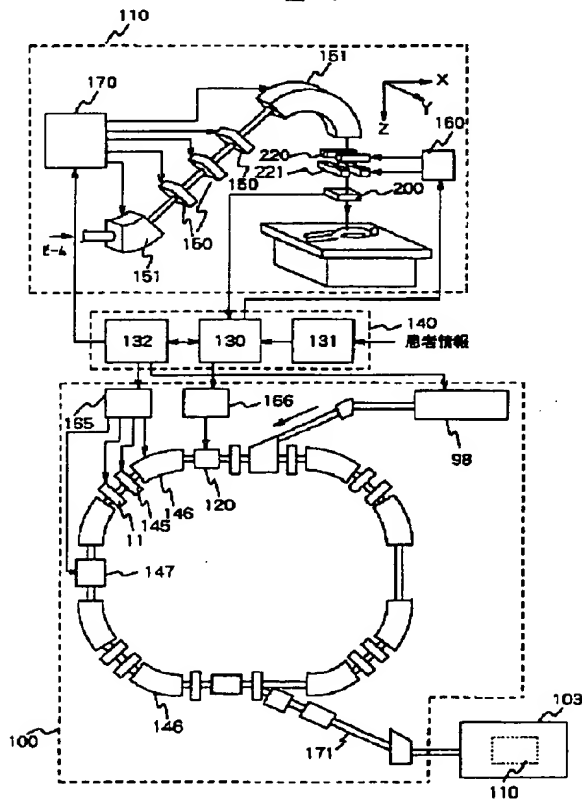
【符号の説明】

1 1 …多極電磁石、9 8 …前段加速器、9 9 …照射野、1 0 0 …加速器、1 0 1 …x 方向走査電磁石、1 0 2 …y 方向走査電磁石、1 0 3 …治療室、1 1 0 …回転照射装置、1 2 0 …出射用高周波印加装置、1 3 0 …照射制御装置、1 3 1 …演算装置、1 3 3 …照射領域形成部、1 10

12

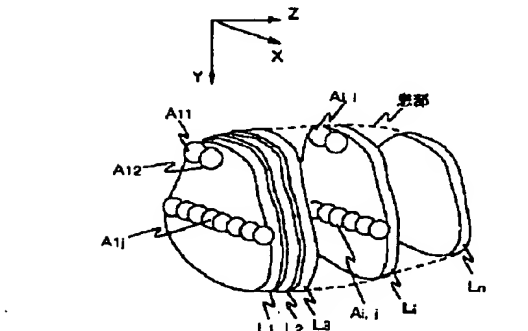
3 4 …エネルギー計算部、1 3 5 …照射線量計算部、1 3 6 …電磁石電流計算、1 4 0 …制御装置群、1 4 5 …4 極電磁石、1 4 6 …偏向電磁石、1 4 7 …高周波加速空洞、1 5 0 …4 極電磁石、1 5 1 …偏向電磁石、1 6 0 …電源装置、1 6 5 …加速器用電源装置、1 6 6 …出射用高周波電源、1 7 0 …電源装置、1 7 1 …輸送系、1 7 5 …切り替え電磁石、1 7 6 …電源、2 0 0 …照射線量モニター、2 2 0、2 2 1 …電磁石、2 5 0 …動き検出装置、5 0 0 …レンジシフター。

【図 1】



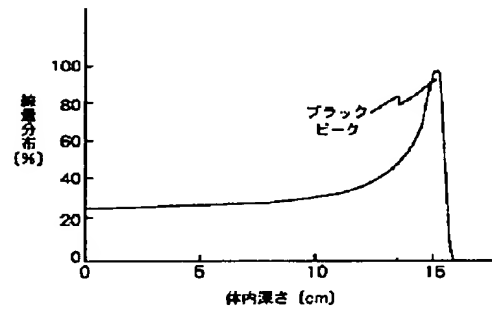
【図 3】

図 3



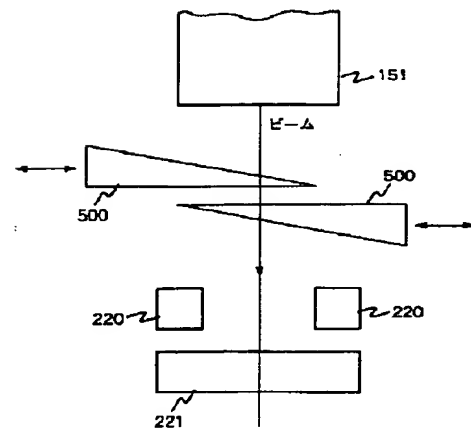
【図 2】

図 2



【図 6】

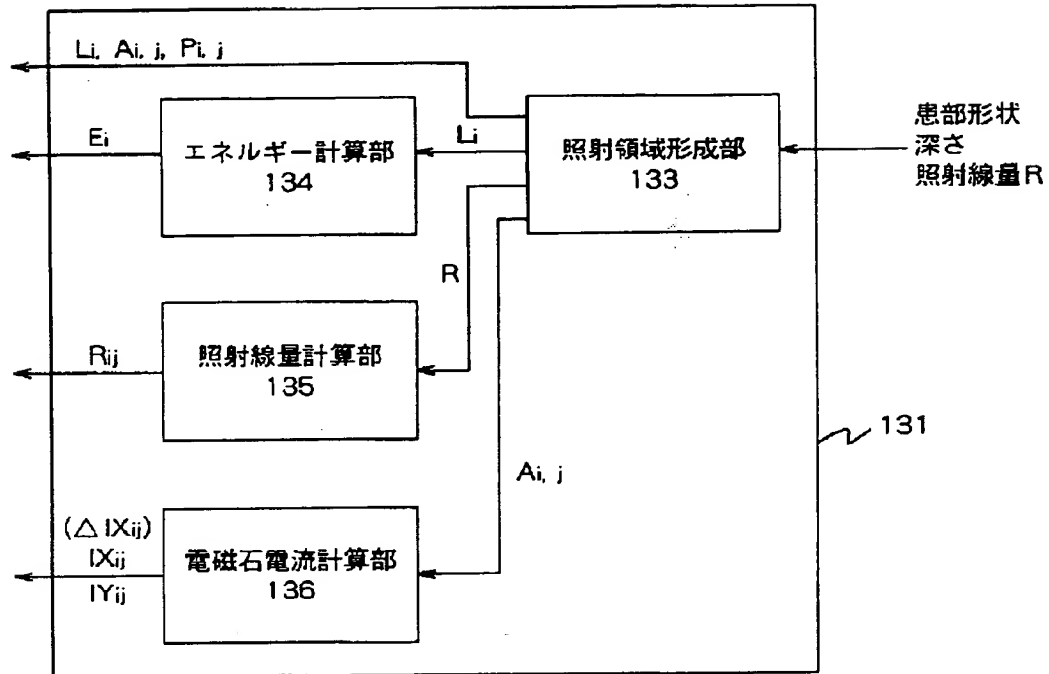
図 6





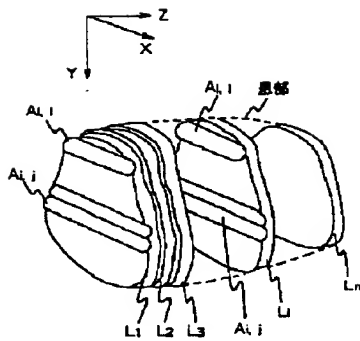
【図 4】

図 4



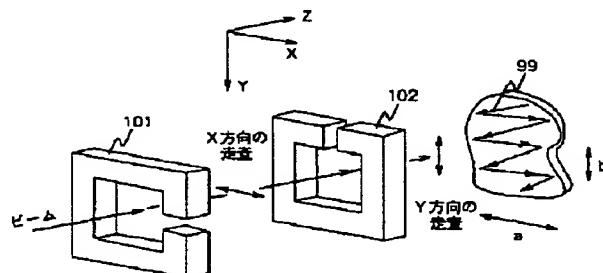
【図 7】

図 7



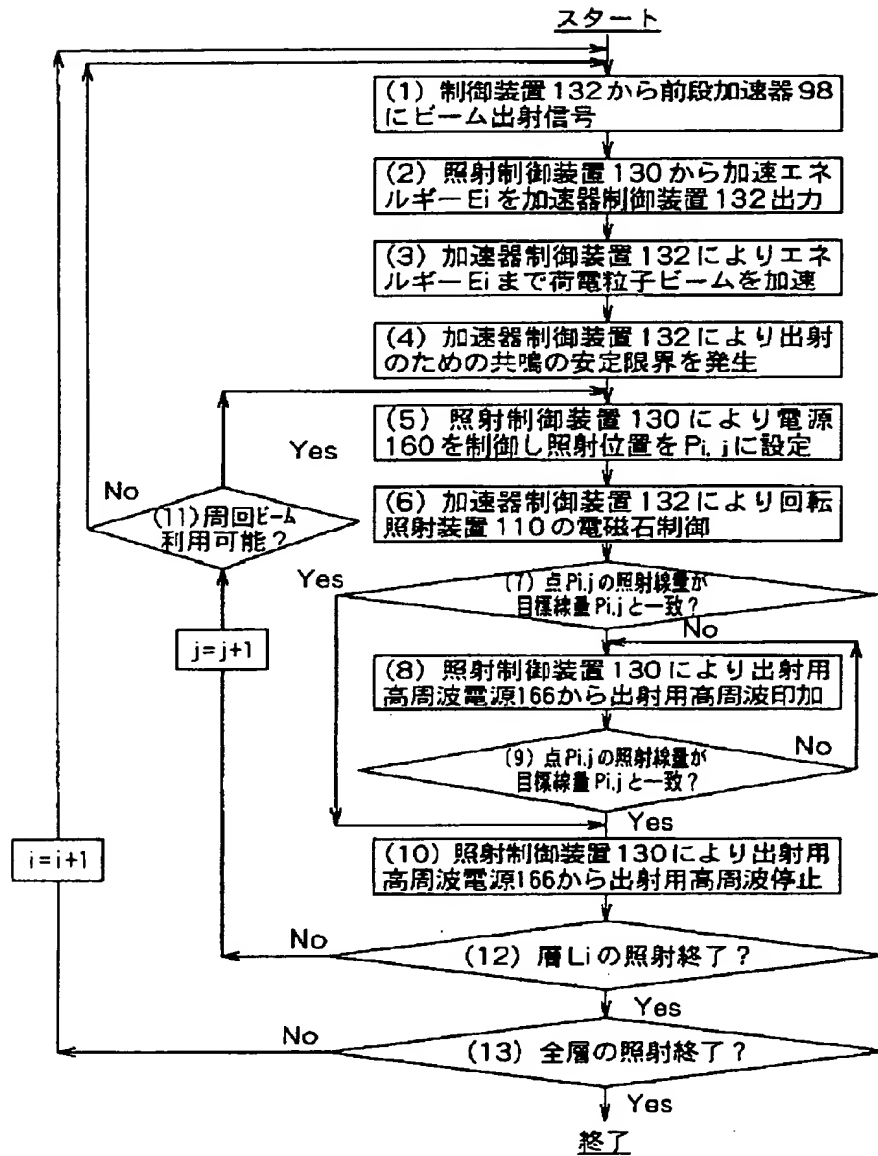
【図 9】

図 9



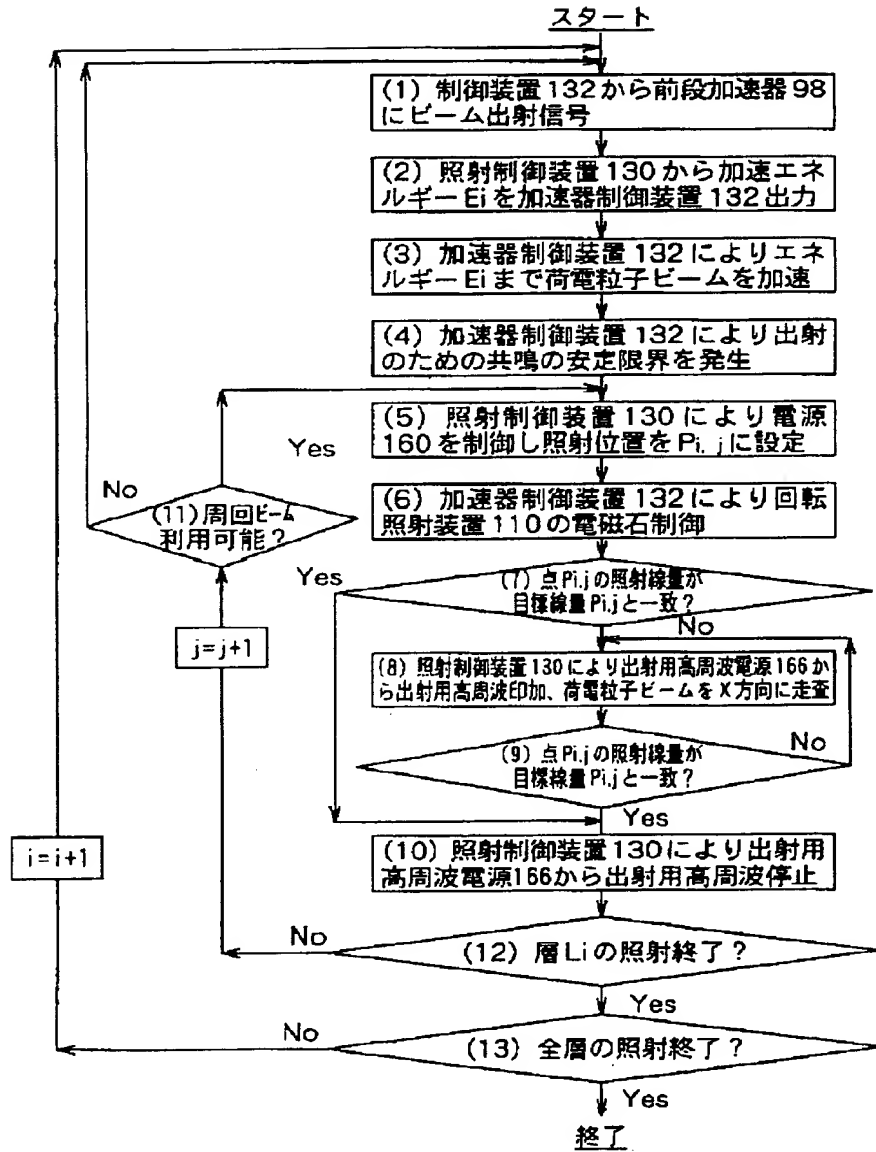
【図 5】

図 5



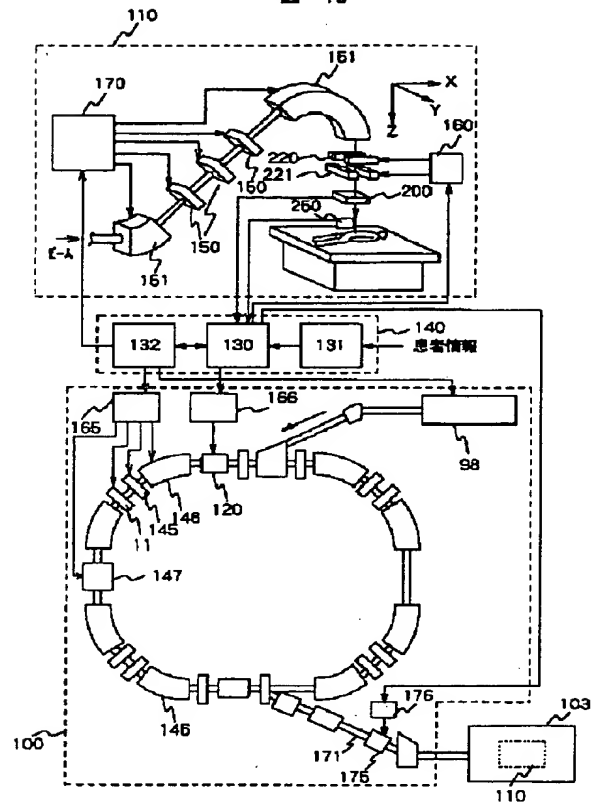
【 図 8 】

図 8



【 図 1 0 】

図 10



〔 図 1 1 〕

図 11

